

УДК 676.274

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.157

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КРАФТ-ЛАЙНЕРА*

О.С. Беляев¹, асп., вед. инж.

Я.В. Казаков², д-р техн. наук, проф.

¹ ОАО «Архангельский ЦБК», ул. Мельникова, д. 1, г. Новодвинск, Россия, 164900;

e-mail: boset@atnet.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Представлены результаты сравнительной оценки величины и вариации физико-механических характеристик картона-лайнера с использованием разрушающих и неразрушающих методов измерения. На образцах картона-лайнера с массой 115, 140 и 170 г/м², отобранных с картоно-делательной машины в виде срезов с тамбура длиной 6 300 мм, выполнены измерения и получены профили механических характеристик – толщины, сопротивления продавливанию, сопротивления сжатию короткого образца, жесткости при изгибе, а также характеристик, измеренных неразрушающими методами – ультразвуковым с применением Lorentzen&Wettre TSO-tester и оптическим с применением РТА-Line Formation Tester. Установлено, что при низкой степени изменчивости толщины (коэффициент вариации 1,6...3,7 %) и индекса жесткости при растяжении в машинном направлении (2,1...2,9 %) картона по ширине картоно-делательной машины вариация механических характеристик существенно (в 4–8 раз) выше. Причиной этого является высокая неоднородность структуры, при этом с уменьшением массы 1 м² картона вариация практически всех характеристик повышается. По результатам анализа профилей характеристик по ширине картоно-делательной машины установлено, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине машины). Сделан вывод, что для снижения вариации механических характеристик, недостаточно управлять только массой 1 м², влажностью и толщиной, а также контролировать угол между максимальным индексом жесткости при растяжении и жесткостью при растяжении в машинном направлении, необходимо управлять качеством формования, а также наметать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика. По результатам корреляционного анализа подтверждено существование зависимости между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами. Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности прогнозирования величин сопротивления продавливанию, жесткости при изгибе и сопротивления сжатию короткого образца крафт-лайнера на основании не только измерения толщины и профиля индекса жесткости при растяжении, но и с

* Работа выполнена в инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

учетом неоднородности структуры картона, оцениваемой на анализаторе формования. Причем все исходные данные могут быть получены неразрушающими методами, а в перспективе и с применением on-line технологий измерения. Результаты позволят повысить достоверность оценки качества картона.

Ключевые слова: картон, вариация свойств, жесткость, формование, анизотропия.

Потребительские свойства гофрированного картона и ящиков зависят, прежде всего, от вида и совокупности свойств исходных материалов. Механическая прочность картона-лайнера является решающим фактором, определяющим способность к переработке на гофроагрегате и последующие потребительские свойства тары из гофрированного картона. Важно отметить, что механическое поведение материалов при силовом воздействии складывается из способности к деформированию (жесткости при растяжении и изгибе, вязкоупругих свойств, устойчивости и т. д.) и прочности [9].

Основными характеристиками картона-лайнера, которые определяются для присвоения ему соответствующей марки, являются: масса 1 м^2 , сопротивление продавливанию, поверхностная впитываемость воды по Коббу, разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT), воздухопроницаемость, сопротивление сжатию короткого образца (SCT) и влажность [4].

В настоящее время неразрушающие методы применяются для измерения массы 1 м^2 , влажности и толщины картона или бумаги в режиме on-line.

Основное преимущество неразрушающих методов отражено в их названии – при их проведении не происходит разрушение материала, поэтому возможно определение других характеристик на этом же образце. Другим важным преимуществом является скорость их выполнения и, как следствие, возможность проведения измерений в режиме on-line.

Наиболее часто в исследовательской практике применяются ультразвуковые и оптические неразрушающие методы исследования свойств бумаги и картона.

Ультразвуковой (УЗ) метод определения упругих свойств материалов, получивший широкое распространение для определения свойств бумаги, был разработан в 60-х гг. XX в., а к 80-м были найдены зависимости скорости прохождения ультразвука в плоскости бумаги от ее эластичности, а также от стандартных механических свойств (сопротивления разрыву, раздиранию, сжатию и продавливанию). Тогда было начато промышленное производство приборов для ультразвукового тестирования бумажных материалов [15].

В настоящее время на предприятиях бумажной промышленности определенное распространение получил L&W TSO Tester компании «Lorentzen & Wettre» (L&W) для определения анизотропии жесткости при растяжении и «направления максимальной упругости волокон» (Tensile Stiffness Orientation – TSO) [10, 15].

Результаты единичных измерений могут быть представлены в виде диаграммы TSO в полярных координатах (рис. 1).

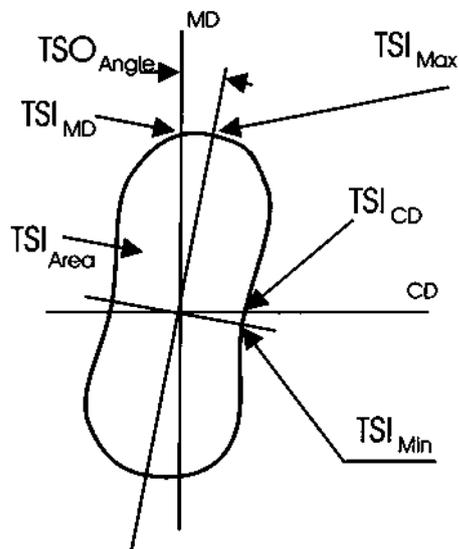


Рис. 1. Диаграмма TSO в полярных координатах и вычисляемые характеристики

С помощью тестера L&W TSO измеряют следующие характеристики:

$TSO\ angle$ (угол TSO) – угол между максимальным индексом жесткости при растяжении и жесткостью при растяжении в направлении MD (угол ориентации жесткости при растяжении, или полярный угол), град;

TSI_{MD} – индекс жесткости при растяжении в машинном направлении, кН·м/г;

TSI_{CD} – индекс жесткости при растяжении в поперечном направлении, кН·м/г;

$TSI_{MD/CD}$ – отношение индекса жесткости при растяжении в машинном направлении к индексу жесткости при растяжении в поперечном направлении (степень анизотропии индекса жесткости при растяжении);

TSI_{min} – минимальное измеренное значение индекса жесткости, кН·м/г;

TSI_{max} – максимальное измеренное значение индекса жесткости, кН·м/г;

TSI_{area} – площадь «арахисоподобного» эллипса, м².

По мнению разработчиков и пользователей метода [10, 15], угол TSO является наиболее часто используемым параметром. В основном его связывают с ориентацией волокон, однако она представляет собой лишь один из факторов анизотропии жесткости картона при растяжении. Другими фактором являются внутренние деформации и напряжения, которые возникают в процессе изготовления бумаги или картона при обезвоживании, прессовании, сушке, машинной отделке.

Согласно рекомендациям разработчиков прибора, на основе полученных характеристик (углов TSO и индексов жесткости в машинном и попереч-

ном направлениях) строится профиль по каждому из этих свойств в направлении от лица бумагоделательной машины (БДМ) к приводу. Эти профили служат для оценки работы БДМ и оптимизации ее работы [10, 15].

Как указывают разработчики метода, результаты измерений на L&W TSO можно использовать для прогнозирования стандартных характеристик качества бумаги и картона. Так, в работах [1, 10, 15] приводятся сведения, что SCT и TSI имеют линейную корреляцию с достаточно высокой величиной коэффициента корреляции ($r^2 = 0,85 \dots 0,95$). При этом для получения достоверных результатов значения TSI_{CD} , SCT_{CD} и массы 1 м^2 должны измеряться на одной и той же позиции. В России также накоплен достаточный и успешный опыт использования TSO-тестера для контроля качества крафт-лайнера [1, 5, 8].

Оптический метод измерения неоднородности позволяет оценить локальную неоднородность листа по непрозрачности. Неоднородность структуры, образующаяся при формовании бумажного полотна, связана с неоднородностью распределения массы в плоскости полотна бумаги. Часто качество формования оценивают визуально, просматривая лист на просвет [3, 12].

Характеристика локальной неоднородности по массе может быть количественно измерена с помощью разных видов излучения, поскольку локальная непрозрачность обычно соответствует локальным колебаниям по массе. Неоднородность структуры является фундаментальной характеристикой бумаги, которая зависит от природы волокна, композиции, характеристик БДМ и многих производственных параметров. Большая часть свойств бумаги, например прочностные свойства и печатные свойства, зависит от качества формования [3].

Качество формования определяет неоднородность структуры бумаги, его можно использовать для установления корреляции между значениями характеристик качества формования и свойствами бумаги и картона (прочностные, деформационные и печатные свойства), а также параметрами процесса (концентрации при отливе, расходы химикатов мокрой части, соотношение скоростей струя/сетка и др.).

Точная количественная оценка качества формования полотна дает возможность улучшить печатные свойства бумаги, повысить прочностные характеристики, увеличить непрозрачность. Кроме того, это позволяет увеличить производительность машины за счет снижения количества обрывов и выработки несортовой продукции [12].

Одной из наиболее часто применяемых для оценки качества формования бумаги характеристик является индекс формования. Было установлено, что характеристики общей неоднородности структуры имеют тесную корреляцию с физико-механическими свойствами бумаги [6], для картона таких тесных зависимостей не выявлено [7]. Основным фактором, вызывающим плохое формование, является флокуляция волокон. Более полную количественную оценку формованию позволяет дать учет вклада неоднородностей (флокул) различных размеров, от одного до нескольких десятков миллимет-

ров. При этом на свойства различных видов бумаги или картона оказывают флокулы определенных размеров, свои для каждого вида бумаги.

Современные приборы позволяют дать количественную оценку качества формования бумаги с учетом неоднородностей различных размеров. На рис. 2, *а* представлен пример изображения, получаемого на анализаторе формования в плоскополяризованном проходящем свете [14]. За счет применения программы [11] были получены изображения с различной степенью сглаживания (рис. 2, *б-г*), что позволяет визуально выделить неоднородности различных размеров.

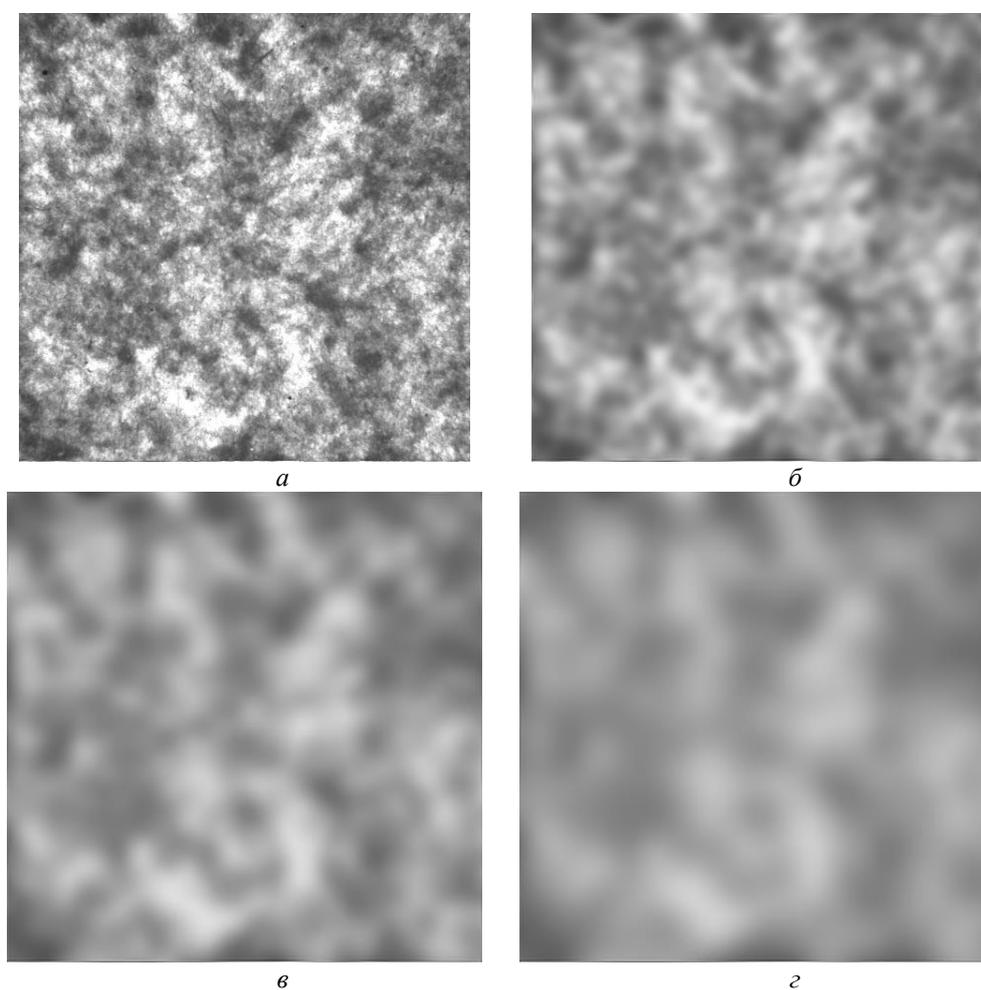


Рис. 2. Изображение, полученное на анализаторе формования PTA-Line Formation Tester: *а* – без сглаживания, *б-г* – с различной степенью сглаживания с применением программы [11]

Авторы работы [13] попытались определить, какие диапазоны формирования важны для определенного свойства бумаги путем обработки экспериментальных данных с применением корреляционного анализа. Как показали Берни и Дуглас [13], для картона-лайнера высшего качества (масса $1 \text{ м}^2 - m = 161 \text{ г}$) корреляции между сопротивлением продавливанию и значениями формирования с размером неоднородностей $0,5 \dots 0,7 \text{ мм}$, а также 7 мм и более, нет. Следовательно, диапазоны с частицами мелкого и крупного размеров формирования не влияют на сопротивление продавливанию картона-лайнера. Однако для размера неоднородностей $4,5 \dots 6,7 \text{ мм}$ имеем $r^2 = 0,72$. Это указывает на высокую чувствительность сопротивления продавливанию к неоднородностям структуры в этом диапазоне. Следовательно, управляя формированием в пределах размера частиц от 2 до 6 мм , можно гарантировать хорошее сопротивление продавливанию.

Анализатор формирования PTA-Line Formation Tester [14] обрабатывает цифровое изображение участка бумаги размером $12 \times 12 \text{ см}$ в поляризованном проходящем свете и с применением частотного Фурье-анализа выдает следующие характеристики: индекс формирования I_f , характеризующий сумму интенсивности колебаний неоднородности яркости пикселей; L_x и L_y – средний размер флокул в направлении осей OX и OY , мм; Θ – средний угол ориентации флокул, град; вклад неоднородностей размерами $1, 2, 3, 6, 10$ и 16 мм .

Для оценки степени варьирования неразрушающих характеристик качества картона-лайнера, полученных ультразвуковым и оптическим методами, и возможности прогнозирования на их основе стандартных характеристик механической прочности и жесткости были проведены серии экспериментов. Для исследования использовали картон крафт-лайнер массой 1 м^2 : $115, 140$ и 170 г , содержащий в композиции сульфатную хвойную целлюлозу высокого выхода и лиственную полуцеллюлозу.

У исследованных образцов в виде полосы картона, подготовленной с помощью подрезчика L&W Sample Trimmer, длиной 6300 мм и шириной 300 мм (длина полосы соответствует ширине картоно-делательной машины (КДМ)) через каждые 100 мм выполнены в одних и тех же точках измерения:

а) неразрушающие характеристики на целой полосе картона:

анизотропия жесткости при растяжении ультразвуковым методом на приборе L&W TSO Tester [15];

оценка неоднородности структуры на анализаторе формирования PTA-Line Formation Tester [14];

толщина картона δ на приборе L&W Micrometer по ГОСТ 27015–86;

б) характеристики жесткости и прочности на вырезанных из полосы картона образцах:

индекс жесткости при изгибе S_b^{CD} на приборе Messmer Buchel 116- BD по ГОСТ ISO 2493–96;

индекс сопротивления сжатию короткого образца SCT на приборе ИТС-403 (Иваново) по ISO 9895:1989;

индекс сопротивления продавливанию Π на приборе L&W Bursting Strength Tester по ГОСТ 13525.8–86.

Образцы картона отбирали через равные промежутки времени. На каждом образце выполнено по 62 измерения набора характеристик. Всего исследовано по 5 образцов для каждой массы 1 м².

Для всех измеренных характеристик проведена статистическая обработка и рассчитаны характеристики: среднее значение \bar{X} ; среднеквадратическое отклонение σ_X ; минимальное X_{\min} и максимальное X_{\max} значение; размах варьирования R , коэффициент вариации v [2]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Статистическая характеристика показателей крафт-лайнера

Показатель	Значение показателя для картона с массой 1 м ² , г					
	115		140		170	
	\bar{X}	$v, \%$	\bar{X}	$v, \%$	\bar{X}	$v, \%$
δ , мкм	175	3,7	209	3,1	256	1,6
TSI_{MD} , кН·м/г	13,3	2,1	13,5	2,7	12,9	2,9
TSI_{CD} , кН·м/г	4,6	10,6	4,7	7,9	4,5	7,1
$TSI_{MD/CD}$	2,93	11,3	2,9	6,9	2,9	5,4
TSI_{Area} , кН·м ² /г	25,2	4,9	25,5	4,4	24,5	4,2
TSO -angle, °	-1,6	–	-0,9	–	0,4	–
I_ϕ	338	6,1	348	4,5	363	7,5
Размер неоднородностей, мм:						
1	86,7	12,9	85,4	14,5	94,1	16,1
3	85,4	17,8	83,4	19,8	83,5	22,1
6	32,3	61,0	50,6	47,6	45,0	54,1
S_b^{CD} , кН·м/кг	3,3	20,3	3,5	14,1	4,9	10,6
SCT_{CD} , кН/м/кг	20,0	8,5	18,8	7,4	17,6	6,6
Π , кПа/кг	4,25	13,6	3,97	7,7	3,7	8,7

Сравнение степени изменчивости показателей по ширине КДМ на основании коэффициента вариации v для стандартных характеристик показало, что при малой вариации толщины ($v = 1,6...3,7 \%$), которая контролируется и поддерживается в заданных пределах АСУТП, вариация сопротивления продавливанию составляет 7,7...13,6 %, сопротивления сжатию SCT_{CD} – 6,6...8,5 %, сопротивления изгибу S_b^{CD} – 10,6...20,3 %.

Применение неразрушающих методов контроля качества картона дало следующий результат: вариация жесткости при растяжении, измеренной ультразвуковым способом, составила в машинном направлении (TSI_{MD}) – 2,1...2,9 %, в поперечном направлении (TSI_{CD}) – 7,1...10,6 %, по анизотропии $TSI_{MD/CD}$ – 5,4...11,3 %.

Вариация характеристик неоднородности структуры, измеренная оптическим способом, составила: по индексу формования, оценивающему общую неоднородность, – 4,5...7,5 %, по неоднородностям размером 6 мм – 47,6...61,0 %.

Из полученных данных следует, что причиной высокой вариации механических показателей является высокая неоднородность структуры, при этом четко видно, что с уменьшением массы 1 м^2 картона вариация практически всех характеристик возрастает.

Природу и причины высокой вариации можно оценить по профилям характеристик. Результаты анализа вариации характеристик картона крафт-лайнера по ширине тамбура КДМ представлены на рис. 3, 4.

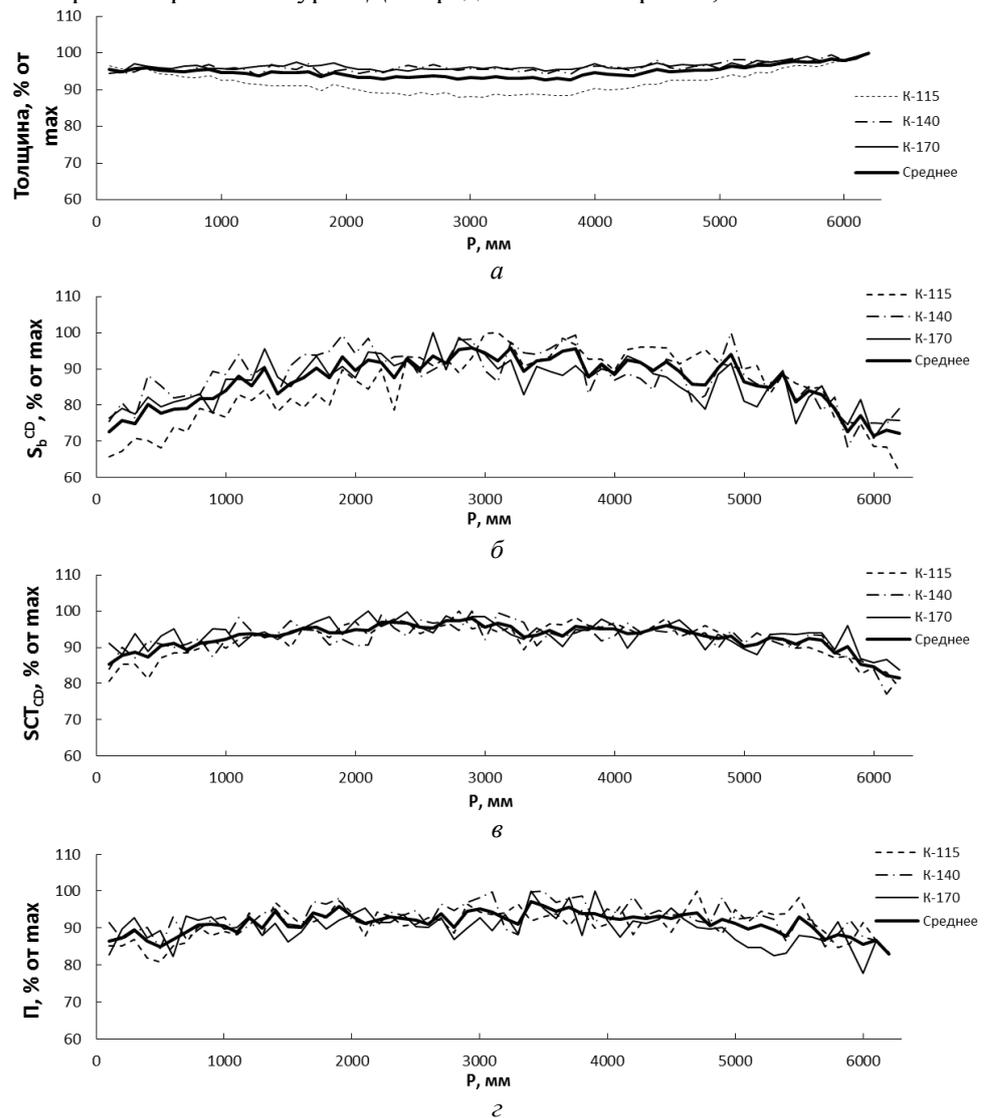


Рис. 3. Изменение стандартных характеристик крафт-лайнера по ширине КДМ: а – толщина; б – жесткость при изгибе; в – сопротивление сжатию на коротком расстоянии; г – сопротивление продавливанию (здесь и далее, на рис. 4, Р – позиция по ширине КДМ)

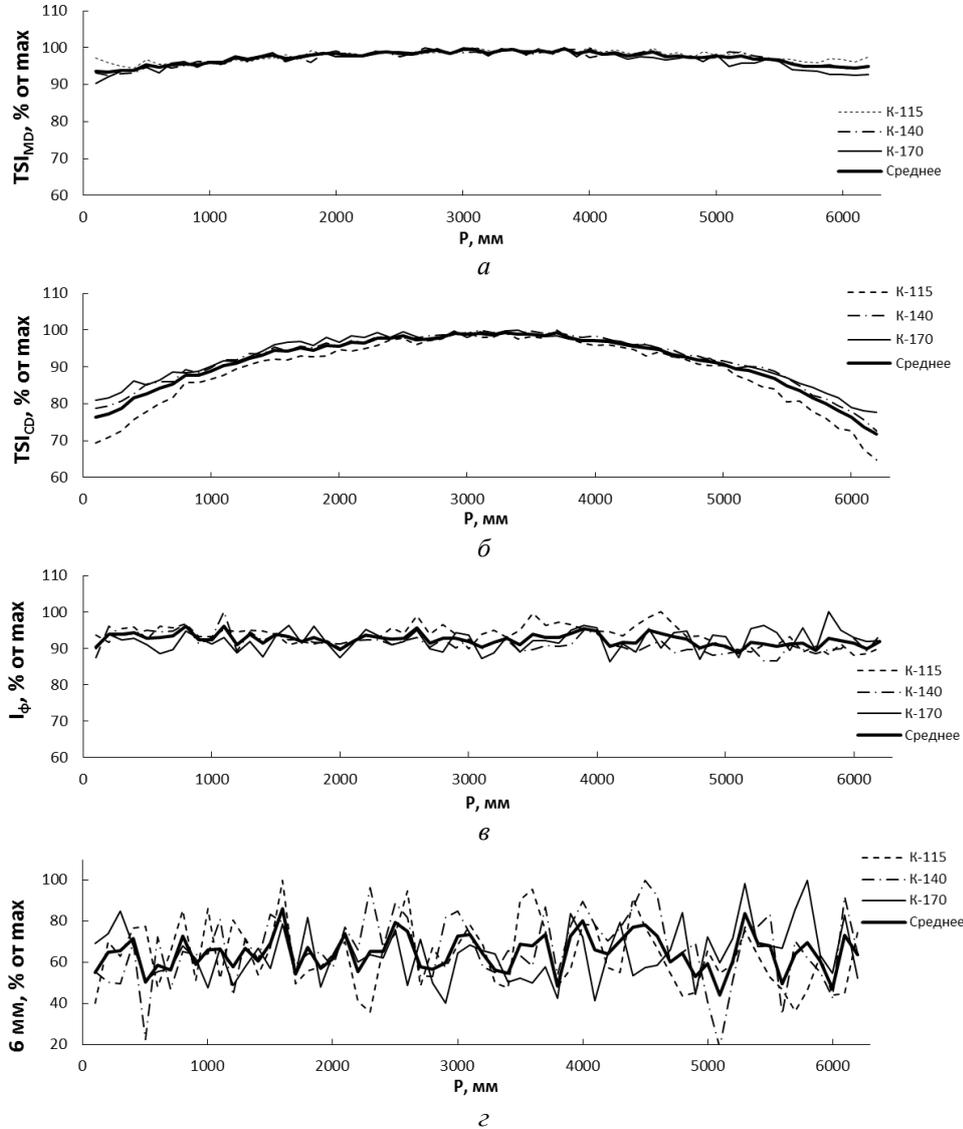


Рис. 4. Изменение неразрушающих характеристик крафт-лайнера по ширине КДМ: *a* – жесткость при растяжении в машинном направлении; *б* – жесткость при растяжении в поперечном направлении; *в* – индекс формования; *г* – формование с размером неоднородностей 6 мм

Профили для каждой массы 1 м^2 представляют собой среднее значение для 5 образцов, при этом на графиках показано относительное значение, которое получено путем деления величины характеристики в каждой точке на максимальное значение по ширине КДМ и представляет процент от максимальной величины характеристики.

Результаты измерения толщины δ (см. рис. 3, а), жесткости при изгибе S_b^{CD} (рис. 3, б), сжатии SCT_{CD} (рис. 3, в) и растяжении TSI_{CD} (рис. 4, б) указывают на существование зависимости величины характеристик от местоположения точки испытания по ширине КДМ и отличие свойств с краев тамбура и в его середине.

Анализ результатов оценки качества формования, напротив, демонстрирует неравномерность по соседним точкам, которая практически не зависит от положения точки измерения. В определенной степени это может быть обусловлено струйностью потока массы из напорного ящика.

Также обнаружено, что имеют место вариации механических характеристик в соседних точках – сопротивления продавливанию, изгибу и сжатию, что соответствует вариации индекса формования. Представленные профили показывают, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), и вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине КДМ).

Таким образом, для снижения вариации характеристик прочности (на примере сопротивления продавливанию), недостаточно управлять только массой 1 м^2 , влажностью и толщиной, а также контролировать угол TSO, надо управлять качеством формования и намечать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика.

Для количественной оценки взаимосвязи механических и неразрушающих характеристик для всех характеристик определены коэффициенты парной корреляции, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции между неразрушающими и физико-механическими характеристиками картона

Физико-механические характеристики	m 1 м^2	δ	TSI_{CD}	$TSI_{MD/CD}$	TSI_{Area}	TSO-angle	I_Φ	Размер неоднородностей, мм		
								1	3	6
П	115	-0,50	0,62	-0,62	0,63	-0,03	0,05	-0,22	0,17	-0,02
	140	-0,33	0,68	-0,65	0,68	-0,49	-0,28	-0,05	-0,10	0,22
	170	-0,37	0,59	-0,59	0,58	-0,38	-0,05	-0,28	-0,23	-0,05
SCT_{CD}	115	-0,85	0,91	-0,91	0,91	-0,42	0,40	-0,31	0,14	0,18
	140	-0,40	0,78	-0,81	0,77	-0,54	0,13	-0,28	-0,19	0,16
	170	-0,41	0,67	-0,68	0,67	-0,59	0,06	-0,14	-0,10	0,05
S_b^{CD}	115	-0,76	0,87	-0,84	0,88	-0,15	0,36	-0,45	0,08	0,17
	140	-0,47	0,77	-0,76	0,76	-0,64	0,08	-0,10	-0,17	0,22
	170	-0,44	0,82	-0,82	0,81	-0,68	-0,11	-0,14	0,13	-0,29

Для вычисления коэффициентов парной корреляции усредняли значения в каждой точке для 5 образцов, в результате получали по 62 значения для каждой характеристики картона по ширине КДМ. После этого рассчитывали коэффициенты парной корреляции для всех характеристик картона, определенных в ходе экспериментов.

Согласно полученным данным предполагаемая зависимость между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами, подтверждается. Например, коэффициенты парной корреляции между SCT_{CD} и TSI_{CD} для 170 г/м^2 – 0,67; для 140 г/м^2 – 0,78; для 115 г/м^2 – 0,91. Снижение массы 1 м^2 картона приводит к повышению тесноты корреляции. Отметим, что при наблюдающейся в настоящее время устойчивой тенденции к снижению массы 1 м^2 картона проблема неравномерности свойств картона будет только усугубляться. Одним из путей ее решения может стать более тщательный технологический контроль с использованием неразрушающих методов.

В результате проведенных исследований установлено:

1. При низкой степени изменчивости толщины ($v = 1,6...3,7 \%$) и TSI_{MD} ($v = 2,1...2,9 \%$) картона по ширине КДМ вариация физико-механических характеристик существенно (в 4–8 раз) выше. Причиной этого является высокая неоднородность структуры, при этом с уменьшением массы 1 м^2 картона вариация практически всех характеристик повышается.

2. По результатам анализа профилей характеристик по ширине КДМ установлено, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), и вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине КДМ). Таким образом, для снижения вариации механических характеристик, недостаточно управлять только массой 1 м^2 , влажностью и толщиной, а также контролировать угол TSO, необходимо управлять качеством формования и намечать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика.

3. Корреляционный анализ подтвердил существование зависимости между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами.

4. Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности прогнозирования величины сопротивления продавливанию, жесткости при изгибе и SCT крафт-лайнера на основании не только измерения толщины и профиля TSI , но и с учетом неоднородности структуры картона, оцениваемой на анализаторе формования. При этом все исходные данные могут быть получены неразрушающими методами, в перспективе и с применением on-line технологий измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 252 с.
2. Беляев О.С., Казаков Я.В., Михайлова О.С. Взаимосвязь макроструктуры и физико-механических свойств картона // Вестн. Казан. технолог. ун-та. 2014. Т.17, № 23. С. 47–50.
3. Вайсман Л.М. Структура бумаги и методы ее контроля. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 152 с.
4. ГОСТ Р 53207–2008. Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 15 с.
5. Гурьев А.В., Комаров В.И., Белоглазов В.И. Опыт использования TSO-тестера для коррекции технологического режима КДМ // Технология переработки макулатуры: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево–Правдинский, 2005. С. 136–138.
6. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние оптической неоднородности структуры на деформационные и прочностные характеристики писче-печатной бумаги // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию СибГТУ. Красноярск: СибГТУ, 2005. Т. I. С. 172–176.
7. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн. 2007. №3. С.110–121. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Комаров В.И., Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Сыроева Н.В. Исследование факторов, влияющих на анизотропию жесткости при растяжении картона-лайнера // Технология переработки макулатуры: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево–Правдинский, 2005. С. 133–136.
9. Комаров В.И., Гурьев А.В., Елькин В.П. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 171 с.
10. Линдبلاد Г., Юха Ю.С. Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO-тестере // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Междун. науч.-техн. конф. Архангельск: САФУ имени М.В. Ломоносова, 2011. С. 78–87.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612685 (РФ). Программа для количественной оценки неоднородности структуры бумаги на просвет (Анализатор формования)/ Я.В. Казаков, В.В. Абрамова: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО САФУ (RU). № 2012610587; заявл. 02.02.2012; опубл. 15.03.2012. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
12. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 121 с.
13. Bernie J-P. Measuring formation of paper – PaperPerfect method. Lorentzen&Wettre. KistaSnabbtryck, Sweden, 2004. 25 p.
14. Lab formation Sensor 2D FSensor. Режим доступа: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (дата обращения: 18.05.2015)
15. Lindblad G., Furst T. The ultrasonic measuring technology on paper and board. Lorentzen&Wettre, Elanders Tofters AB, 2001. 100 p.

Поступила 05.11.15

UDC 676.274

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.157

Using Non-Destructive Methods of Kraft Liner Quality Control

O.S. Belyaev¹, Postgraduate Student, Management Engineer

Ya.V. Kazakov², Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Arkhangelsk Pulpand Paper Mill, Melnikov str., 1, Novodvinsk, 164900, Arkhangelsk region, Russian Federation; e-mail: boset@atnet.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

The paper presents the results of the comparative evaluation of the magnitude and variation of the physical and mechanical characteristics of the cardboard-liner, using destructive and non-destructive measurement methods. The samples of kraft-liner – the slices from a spool – of the weight of 115, 140 and 170 g/m² and the length of 6300 mm selected at a cardboard machine were measured. The mechanical properties profiles were obtained: thickness, burst strength, SCT, bending stiffness, and the characteristics measured by the non-destructive ultrasound method with the Lorentzen&Wetret TSO-tester and by the optical method with the use of the PTA-Line Formation Tester. The variation of mechanical characteristics is considerably (4–8 fold) higher at a low degree of the thickness variability (coefficient of variation 1.6...3.7 %) and the cardboard tensile stiffness index in the machine direction (2.1...2.9 %) across the width of a cardboard machine. The reason is in the high structural imperfection. The variation of all characteristics increases when a weight of 1 m² of cardboard decreases. According to the profiling of the characteristics across the width of the CM we have established, that the variation of burst strength, compression strength and bending stiffness consists of the variation of the formation index (by the nearly points), and the variation of the thickness and tensile stiffness (dependence on the position of the point across the width of the CM). In order to reduce the variation of the mechanical properties it is not enough to control only the basic weight of 1m², humidity and thickness, as well as to control the TSO-angle, but it is necessary to operate by the formation quality and plan the measures to reduce the paper pulp flocculating and jets at the headbox. According to the results of the correlation analysis we confirm the existence of the relationship between the standard physical and mechanical properties and the characteristics determined by the non-destructive methods. The obtained results suggest the possibility of the predictability of the burst strength resistance values, bending stiffness and SCT of kraft liner on the basis of not only measuring the thickness and TSI profile, but also the structural imperfection of cardboard, estimated by the formation analyzer. All the original data can be obtained by the non-destructive methods and in the future with the use of the on-line measurement technologies. The results will improve the accuracy of the assessment of the cardboard quality.

Keywords: cardboard, properties variation, stiffness, formation, anisotropy.

REFERENCES

1. Beloglazov V.I., Gur'ev A.V., Komarov V.I. *Anizotropiya deformativnosti i prochnosti tarnogo kartona i metody ee otsenki* [Anisotropy of Deformability and Strength of Container Board and Methods of Its Evaluation]. Arkhangelsk, 2005. 252 p.
2. Belyaev O.S., Kazakov Ya.V., Mikhaylova O.S. *Vzaimosvyaz' makrostruktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv kartona* [Interrelation of the Macrostructure and Physical and Mechanical Properties of Cardboard]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 23, pp. 47–50.

3. Vaysman L.M. *Struktura bumagi i metody ee kontrolya* [Paper Structure and Methods of Its Control]. Moscow, 1973. 152 p.
4. GOST R 53207–2008. *Karton dlya ploskikh sloev gofirovannogo kartona. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard R 53207–2008. Cardboard for Flat Layers of Corrugated Cardboard. General Specifications]. Moscow, 2009. 15 p.
5. Gur'ev A.V., Komarov V.I., Beloglazov V.I. Opyt ispol'zovaniya TSO-testera dlya korrektsii tekhnologicheskogo rezhima KDM [Experience in Using TSO-Tester to Correct the Technological Mode of Cardboard Machine]. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: materialy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 6th Intern. Conf. “Technology of the Wastepaper Processing”]. Karavaevo-Pravdinsky, 2005, pp. 136–138.
6. Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Vliyanie opticheskoy neodnorodnosti struktury na deformatsionnye i prochnostnye kharakteristiki pishe-pechatnoy bumagi [Effect of Optical Structural Imperfection on the Deformation and Strength Characteristics of the Writing and Printing Paper]. *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы – problemy i resheniya: sb. st. po materialam Vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 75-letiyu SibGTU* [Proc. All-Russ. Sci. Eng. Conf., Dedicated to the 75th Anniversary of the Siberian State Technological University “Forest and Chemical Complexes – Challenges and Solutions”]. Krasnoyarsk, 2005, vol. I, pp. 172–176.
7. Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Vliyanie neodnorodnosti struktury na kharakteristiki zhestkosti kartonov-laynerov [Influence of Structural Imperfection on the Stiffness Characteristics of Linerboards]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 3, pp. 110–121.
8. Komarov V.I., Beloglazov V.I., Gur'ev A.V., Sysoeva N.V. Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na anizotropiyu zhestkosti pri rastyazhenii kartona-laynera [A Study of Factors Affecting the Tensile Stiffness Anisotropy of Linerboard]. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: materialy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 6th Intern. Sci. Eng. Conf. “Technology of the Wastepaper Processing”]. Karavaevo-Pravdinsky, 2005, pp. 133–136.
9. Komarov V.I., Gur'ev A.V., El'kin V.P. *Mekhanika deformirovaniya tsellyuloznykh taroupakovochnykh materialov* [Mechanics of Deformation of the Cellulose Packaging Materials]. Arkhangelsk, 2002. 171 p.
10. Lindblad G., Yukha Yu.S. Nastroyka BDM dlya optimizatsii prochnostnykh svoystv kartona dlya ploskikh sloev gofirovannogo kartona i bumagi dlya gofirovaniya s pomoshch'yu analiza na TSO-testere [PM Setting to Optimize the Cardboard Strength Properties for Flat Layers of Corrugated Cardboard and Paper for Corrugating with the Analysis at the TSO Tester]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I Mezhdun. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 1st Sci. Eng. Intern. Conf. “The Issues in Mechanics of the Pulp-and-Paper Materials”]. Arkhangelsk, 2011, pp. 78–87.
11. Kazakov Ya.V., Abramova V.V. *Programma dlya kolichestvennoy otsenki neodnorodnosti struktury bumagi na prosvet (Analizator formovaniya)* [The Program of Quantitative Evaluation of Paper Structural Imperfection UP to the Light (Formation Tester)]. Certificate of Computer Software Registration, no. 2012612685, 2012.
12. Smolin A.S., Aksel'rod G.Z. *Tekhnologiya formovaniya bumagi i kartona* [Technology of Paper and Cardboard Forming]. Moscow, 1984. 121 p.
13. Bernie J.P. *Measuring Formation of Paper – PaperPerfect Method – Lorentzen&Wettré*. Sweden. 2004. 25 p.
14. Lab *Formation Sensor 2D FSensor*. Available at: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (accessed 18.05.2015).
15. Lindblad G., Fürst T. *The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board. Lorentzen&Wettré, Elanders Tofters AB*. Sweden, 2001. 100 p.

Received on November 05, 2015